

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА МЕТОДОМ РАЗНЕСЕННЫХ АНТЕНН

Измерение параметров ветра, с использованием нескольких приемников, можно проводить двумя методами: доплеровским и методом разнесенных антенн (РА). При доплеровском методе для раздельного измерения трех компонент вектора скорости V_x , V_y и V_z необходимо осуществлять минимум три зондирования выбранной области пространства с различных направлений. Схема зондирования должна быть такой, чтобы уравнения, включающие определяемые величины были независимы, то есть диаграммы направленности (ДН) антенн должны быть неколлинеарными. Метод РА также предполагает наличие нескольких приемников, но ДН антенн параллельны и направлены вертикально. Параметры ветра получают путем корреляционного анализа. При таком способе зондирования достигается лучшее пространственное разрешение (при методе РА объем исследуемого пространства ограничен размерами ДН приемной антенны, пространство, исследуемое доплеровским методом, определяется тремя лучами). Тем не менее, точность измерения параметров ветра методом РА сильно зависит от отношения сигнал-шум, поэтому, в случае слабых сигналов, доплеровский метод может дать более точный результат. Для достижения высокого пространственного разрешения был выбран метод РА, поэтому возникла проблема корректной нормировки корреляционных функций.

Расстановка приемных антенн производится в вершины воображаемого равнобедренного прямоугольного треугольника. Катеты определяют направления осей x и y и равны S . Таким образом, считая взаимные корреляционные функции (ВКФ) сигналов от пар антенн, можно получить времена задержек вдоль осей τ_x и τ_y . Отсюда, горизонтальные составляющие вектора скорости ветра:

$$V_x = S / (2 \cdot \tau_x); \quad (1)$$

$$V_y = S / (2 \cdot \tau_y).$$

Направление θ и скорость V ветра можно оценить по следующим формулам:

$$\theta = \arctg(V_y / V_x); \quad (2)$$

$$V = V_x \cdot \sin(\theta) = V_y \cdot \cos(\theta). \quad (3)$$

Эти оценки, характеризуют мнимые параметры ветра, то есть, они могут существенно отличаться при наличии турбулентности в атмосфере. Реальные можно получить, применяя полный корреляционный анализ (ПКА). Корреляционные функции, задействованные в алгоритме ПКА, приведены на рис. 1. Сплошная линия изображает ВКФ для случая жестко связанных рассеивателей (отсутствие турбулентности в атмосфере), ей соответствует задержка τ_0 .

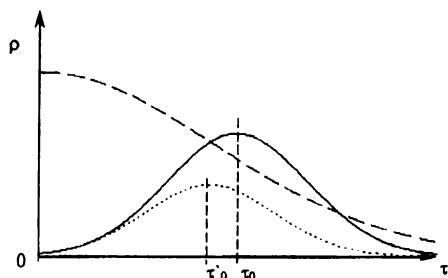


Рис. 1

Если неоднородности не являются статистически стационарными, то общая картина рассеивателей подвергается разрушающему воздействию турбулентности.

Результирующая ВКФ (показана точками), таким образом, может быть представлена произведением исходной функции на коэффициент деградации картины рассеивателей (пунктирная линия). При этом время задержки τ'_0 .

Применение ПКА предполагает, что сигналы, а соответственно, ВКФ и АКФ очищены от шума. Присутствие шума приведет к выбросу в АКФ при нулевой задержке. Такой же выброс будет и в ВКФ, если один и тот же шум одновременно присутствовал в разных приемных каналах. ВКФ и АКФ имеют гауссовскую форму и положительное вертикальное приращение. Это приращение объясняется конечной длительностью сигналов, поэтому ожидается его уменьшение с увеличением времени усреднения. Но существует еще один механизм, порождающий это приращение. Измерения пограничного слоя с помощью радара часто подвержены шуму от подстилающей поверхности, как стационарного, так и медленно меняющегося (раскачивающиеся деревья, шевелящаяся листва). Время декорреляции для шума больше, чем для атмосферного сигнала. Возможно хорошее подавление шума подстилающей поверхности путем вычитания среднего из каждой последовательности до корреляционной обработки, но медленно меняющийся шум вносит приращение не устранимое усреднением. Неправильная нормализация корреляционных функций ведет к ошибкам измерения параметров ветра. ВКФ нормализуется таким образом, чтобы такая же нормализация, примененная к автокорреляционной функции, приводила к значению 1 при нулевой задержке.

Необходимо также правильно проводить интерполяцию. Рекомендуется, кроме известных точек в бесконечности, считать корреляционные функции еще для четырех времен задержек, попадающих в основной максимум. Последующая аппроксимация полиномом шестой степени считается достаточной.

Для оценки качества нормировки водится параметр антенны α_h как функция ДН передающей и приемной антенн. Его значение может быть найдено при известном значении ВКФ двух принятых сигналов при нулевой задержке $\rho_{12}(0)$ и расстоянии между антеннами S :

$$\alpha_h = \frac{2}{S} \cdot \sqrt{-\ln(\rho_{12}(0))}. \quad (4)$$

Похожие значения параметра антенны при различных отношениях сигнал-шум говорят о правильном выборе ширины ДН и правильной нормализации корреляционной функции.

Параметр α_h может быть полезным при устранении шума. Фильтрация сигнала может оказаться эффективнее при подавлении медленно меняющегося шума. При выборе фильтра также может быть использована оценка достаточного уровня фильтрации с помощью α_h .

После нормировки и аппроксимации корреляционных функций можно рассчитать реальные компоненты вектора скорости ветра:

$$\begin{aligned} V'_x &= S \cdot \tau_x / (\tau'_x)^2; \\ V'_y &= S \cdot \tau_y / (\tau'_y)^2 \end{aligned} \tag{5}$$

где τ'_x – временная задержка, при которой АКФ равна значению ВКФ при нулевой задержке. Реальное направление θ' и скорость V' ветра можно получить по формулам (2) и (3).